

## ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LAMINA BERPENGUAT SERAT KACA *WOVEN* DENGAN MATRIKS *UNSATURATED POLYESTER 2504 APT*

Naafi'ul Amri<sup>1</sup>, Gaguk Jatisukamto<sup>2</sup>, Sumarji<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*sumarji.mesin@gmail.com

### ABSTRACT

*Polymer composites has anisotropic properties, if it receives stress from outside it will increase deformation in all directions. This study aims to determine the effect of composites lamina made from woven glass fibers on 2504 APT unsaturated polyester on tensile and flexural strength. The research methodology used is as follows: the process of making composites using the Hand-Lay Up method, the matrix volume fraction  $V_{fm} = 69, 39\%$ , the fiber volume fraction  $V_{fs} = 30, 38\%$ . The research parameters observed are the x-direction stress ( $\sigma_x$ ) and the y-axis direction stresses, ( $\sigma_y$ ). The results obtained are the y-axis, ( $\sigma_y$ ) = 0.8% greater than the x-axis. The flexural strength of the x-axis direction, ( $\sigma_{bx}$ ) = 57,7% greater than the y-axis direction. The difference in the value of the tensile strength occurs in the number of different fiber bonds, while the flexural strength of the y direction occurs in the fiber lamina which increases more.*

**Keywords:** Sifat mekanis, Serat kaca woven, Lamina.

### PENDAHULUAN

Rekayasa material bidang komposit banyak diterapkan berbagai aplikasi seperti: kapal laut, industri otomotif, industri pesawat terbang, elektronika, peralatan rumah tangga dan peralatan olah raga [1]. Indonesia merupakan negara yang memiliki kepulauan kecil dan laut yang luas. Transportasi laut yang digunakan dalam penyebrangan antar pulau kecil dan para nelayan dibutuhkan alat transportasi kapal yang memiliki konstruksi yang ringan. Bahan komposit dengan penguat serat kaca menjadi bahan alternatif pembuatan kapal, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) berdiskusi bahwa kecelakaan pada kapal berbahan komposit disebabkan faktor kritis konstruksi lambungnya [2]. Komposit serat kaca sebagai lambung kapal memiliki nilai minimum untuk kekuatan tarik 121,23 MPa dan untuk kuat tekuk 116,15 MPa [3].

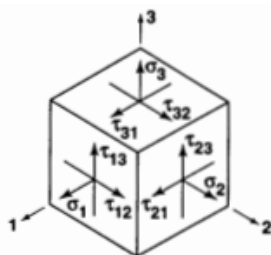
Komposit harus memiliki persyaratan tertentu agar memiliki keunggulan yang lebih baik dari material lain seperti massa ringan, sifat mekanik yang baik, pembuatan murah dan mudah diperoleh. Komposit polimer relatif mudah dibentuk dan memiliki karakteristik yang lebih dari material lain sehingga digunakan sebagai alternatif pengganti material logam konvensional [4][5]. Bahan penyusun komposit terdiri atas matriks dan penguat (*reinforce*). Jenis penguat yang di gunakan dalam pembuatan komposit

seperti penguat serat alam dan serat kaca (*fiberglass*). Orientasi serat kaca terdiri atas serat kaca acak, serat kaca *woven* dan serat kaca lurus. Orientasi digunakan memiliki karakteristik berbeda, sesuai dengan aplikasinya. Serat kaca mempunyai nilai yang tinggi saat diuji tarik, nilai density dan nilai kekakuan rendah, mempunyai dimensi yang baik, mempunyai resisten terhadap keadaan dingin dan panas serta tahan terhadap korosi. Sifat mekanik dan fisik dari komposit ditentukan dari kandungannya seperti perbandingan fraksi volume serat, arah serat dalam matriks, penampang lintang serat, sifat mekanis serat maupun matriks, dan kuat ikat serat matriks [6]. Kekuatan mekanik bergantung pada orientasi serat komposit, beban tarik yang diberikan searah serat menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal [5].

Pengaruh arah beban terhadap sifat mekanik komposit lamina memiliki karakteristik berbeda. Penelitian sebelumnya pengaruh arah beban sumbu x dan y terhadap kekuatan tekan komposit serat bambu dipelajari. Hasil penelitian menunjukkan  $E_x = 30044$  MPa dengan *poisson* rasio 0,013 - 0,278,  $E_y = 265$  MPa dengan *poisson* rasio 0,621 - 1,506 [7]. Penelitian yang lain dikaji bahwa orientasi serat juga berpengaruh terhadap sifat mekanik yang optimal. Serat kaca *woven* dengan orientasi serat 90° memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang optimal dibanding

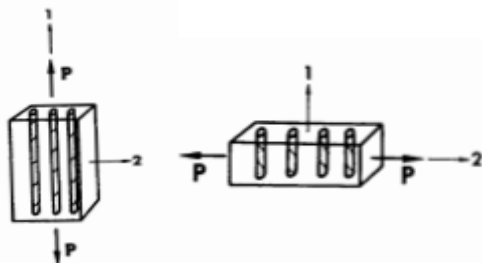
orientasi serat  $45^\circ$  [8]. Penelitian tersebut sejalan dengan [9] bahwa didapatkan nilai modulus young tertinggi dengan ketebalan 2 mm pada orientasi  $90^\circ$  dibanding orientasi serat  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa pengaruh arah beban terhadap lamina komposit dengan menggunakan serat kaca *woven* perlu dikaji lebih lanjut untuk memenuhi spesifikasi dalam aplikasi alat transportasi kapal.

## LANDASAN TEORI



Gambar 2. Tegangan pada element

Gambar 2 menunjukkan sifat *anisotropic* material, yang merupakan komposit yang mempunyai nilai kekuatan yang berbeda pada setiap arah penguatnya berdasarkan beban yang diberikan searah dengan serat, sehingga tegangan regangan akan mempunyai nilai yang berbeda [10].

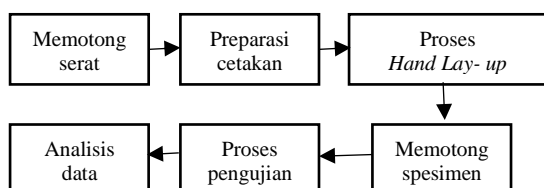


Gambar 3. Arah tegangan tarik

Penentuan tegangan arah 1 dan 2 yaitu pada spesimen penguat serat lurus lamina, bahwa ketebalan spesimen tidak hanya satu lamina tetapi beberapa lamina dengan dengan orientasi serat yang sama, seperti yang ditunjukkan Gambar 3 [10].

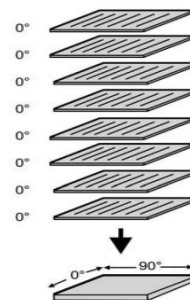
## METODE PENELITIAN

### 3.1 Skema proses penelitian



### a. Bahan dan prepasrasi spesimen

Bahan yang digunakan adalah serat kaca *woven* WR 200 sebagai penguat dan resin eteraset 2504 APT sebagai matriks. Katalis mepoxe digunakan sebagai proses *curing*. Lamina komposit dibuat dengan metode *Hand-Lay up* dengan fraksi volume  $V_{fm} = 68,39\%$  dan fraksi volume  $V_{fs} = 30,38\%$  sedangkan untuk katalis menggunakan 1 % dari volume resin. Lamina komposit dipotong dengan bentuk plat dengan dimensi sesuai ASTM D 3039 pengujian tarik dan ASTM D 790 pengujian bending

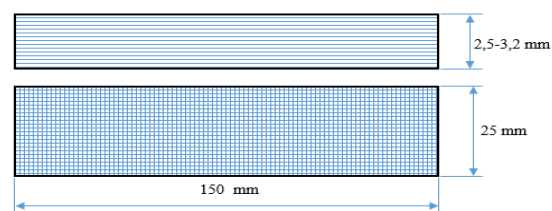


Gambar 4. Susunan serat kaca *woven*

Gambar 1 menunjukkan penyusunan lamina komposit penguat serat kaca *woven* yang disusun dengan orientasi yang sama dengan penelitian terhadap dua arah beban  $F_1$ ,  $F_2$  dengan type anyaman yang sama pada arah sumbu x dan y. Pengaruh arah beban sangat penting untuk diperhatikan untuk mengetahui sifat mekanik komposit [11].

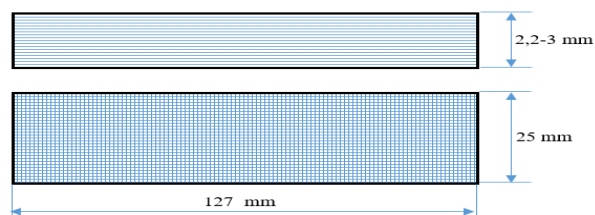
### 3.2 Karakterisasi mekanis

Spesimen uji tarik ditunjukkan Gambar 5 [12].

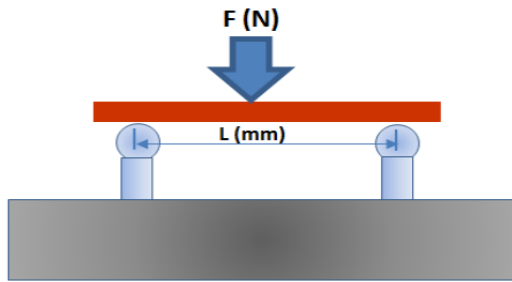


Gambar 5. Spesimen uji tarik (ASTM D 3039)

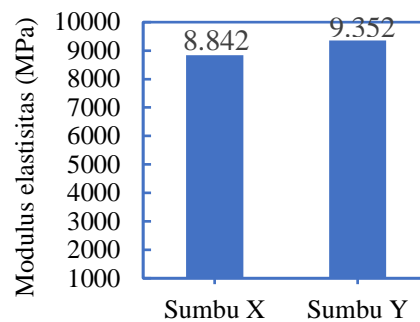
Spesimen uji bending ditunjukkan Gambar 6. Kekuatan bending dilakukan dengan pengujian tiga titik bending yang ditunjukkan Gambar 7 [13].



Gambar 6. Spesimen uji bending (ASTM D 790)



Gambar 7. Skema uji bending (ASTM D 790)

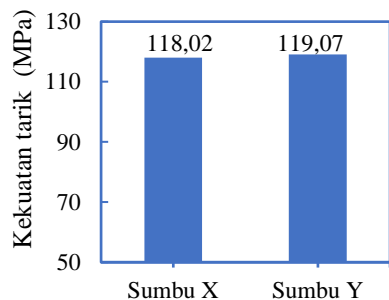


Gambar 9 Korelasi antar arah beban dengan modulus elastisitas

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil pengujian tarik

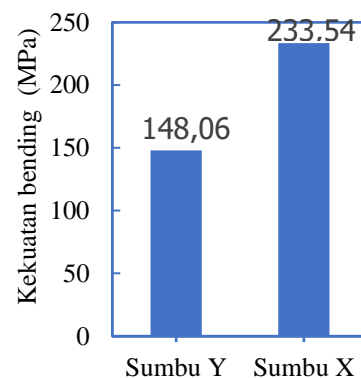
Pengujian tarik spesimen komposit dilakukan dengan 10 kali pengulangan sampel yang disesuaikan dengan ASTM D 3039.



Gambar 8. Korelasi antar arah beban dengan Kekuatan tarik

Gambar 8 menyajikan hasil kekuatan tarik dengan parameter pengaruh beban tarik arah sumbu x dan y. Digram menunjukkan bahwa hasil  $\sigma_y$  meningkat 0,8 % dari kekuatan  $\sigma_x$ . Perbedaan kekuatan tarik tersebut disebabkan oleh proses pemotongan serat yang *woven* yang tidak konsisten sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik, perbedaan tersebut sama dengan penelitian [14]. Hasil nilai modulus elastisitas ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil  $E_y$  Arah beban sumbu x meningkat 5,7 %, regangan  $\epsilon_x$  menurun 19,7 % dari arah beban pada sumbu y. Spesimen komposit saat dilakukan pengujian tarik akan berubah bentuk. Spesimen komposit berubah bentuk dari panjang mula-mula menjadi memanjang. Pembuatan spesimen komposit adanya permukaan yang tidak rata mengakibatkan nilai regangan atau perubahan panjang mengalami perbedaan. Salah satu penyebab nilai modulus elastisitas disebabkan oleh matra (*dimension*) bahan yang digunakan memiliki tebalnya dan struktur atau komposisi penyusun bahan tersebut berbeda [15].

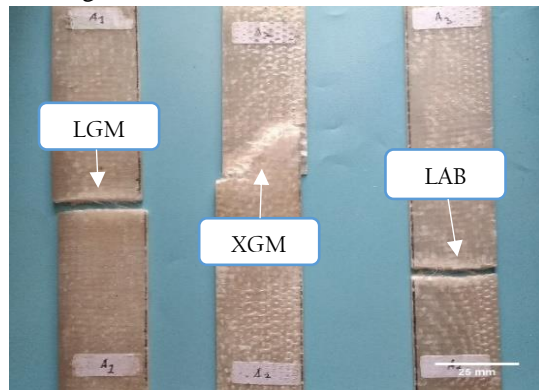
### 4.2 Hasil kekuatan bending



Gambar 10 Korelasi antar arah serat dengan kekuatan bending

Gambar 10 menyajikan hasil kekuatan bending dengan parameter pengaruh beban tarik arah sumbu x dan y. Arah beban kekuatan bending sumbu x terjadi pada lamina serat sedangkan arah beban sumbu y terjadi pada permukaan komposit. Kekuatan bending terhadap arah beban berbeda dengan hasil kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Gambar 6 menunjukkan  $\sigma_{bx}$  meningkat 57,7 % dari  $\sigma_{by}$ . Kekuatan bending  $\sigma_{bx}$  lebih maksimal disebabkan oleh beban arah sumbu x ditumpu oleh banyaknya serat sedangkan pada sumbu y beban hanya ditumpu oleh anyaman serat. Penelitian ini sejalan dengan [7] meneliti pengaruh pembebanan tekan sumbu x dan y dengan menggunakan bahan penguat bambu, didapatkan kekuatan tekan pada sumbu x sebesar 67,61 MPa dan kekuatan tekan pada sumbu y sebesar 9,28 MPa

### 3.3 Pengamatan makro

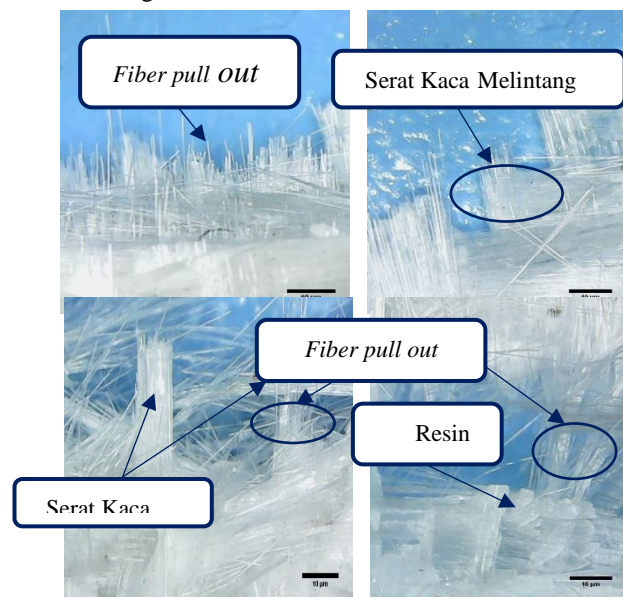


LGM (*Lateral gage middle*); XGM (*Explosive gage middle*); LAB (*Lateral At Bottom*)

Gambar 11 Pengamatan bentuk patahan morfologi makro uji tarik

Gambar 11 menggambarkan bentuk patahan setelah dilakukan pengujian tarik. Tipe patahan yang dapat diamati adalah patah di dekat pencekam uji tarik dan pada bagian tengah spesimen. Spesimen A1 termasuk patah LGM (*Lateral Gage Middle*) merupakan patah yang terjadi pada bagian tengah spesimen, hal ini menunjukkan bahwa patah yang terjadi adalah sudah baik dan beban yang di berikan pada spesimen sudah terdistribusi merata. Spesimen A2 termasuk patah XGM (*Explosive Gage Middle*) merupakan tipe kegagalan spesimen komposit *explosive* dengan kegagalan luas area disekitar gage dan letak posisi patahan yang terjadi pada bagian tengah spesimen komposit. Spesimen A2 dapat diamati bahwa patah yang terjadi adanya kemiringan patahan dan adanya robekkan matriks memanjang pada bagian sisi samping spesimen, Hal ini disebabkan adanya *delaminasi* pada sampel. *Delaminasi* merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat, delaminasi terjadi karena beberapa faktor seperti tegangan interlaminar yang tinggi pada sudut-sudutnya dan konsentrasi tegangan pada lokasi retak atau kerusakan lain pada laminat [16]. Spesimen A3 termasuk jenis patah LAB (*Lateral At Grib/Tab Bottom*), patah LAB terjadi dikarenakan saat pengujia pencekamnya yang terlalu keras sehingga gaya distribusi berpusat pada pencekamnya dan juga dapat membuat tegangan didaerah tersebut tinggi hanya terkonsentrasi pada daerah pencekam.

### 3.4 Pengamatan mikro



(a), (b) Orientasi serat sumbu X uji tarik; (c), (d) Orientasi serat sumbu Y uji tarik

Gambar 12 Mikro komposit serat kaca *woven*

Pengamatan lanjut dari bentuk patahan diamati dengan menggunakan digital microscope pada permukaan patahan spesimen yang ditunjukkan Gambar 12. Fenomena-fenomena yang terjadi pada permukaan banyaknya fenomena terjadinya *fiberpull out*, *fiberpull out* merupakan terlepasnya serat dari matriks. Terlepasnya serat pada matriks disebabkan serat mengalami pertambahan panjang sedangkan matriks yang sifatnya getas tidak mengalami pertambahan panjang, hal tersebut yang mengakibatkan ikatan serat dan matriks terlepas [17]. *Fiberpull out* terjadi dikarenakan proses pembasahan antara matriks dan serat tidak berikatan secara sempurna sehingga dari fenomena tersebut dapat dimati bahwa serat langsung tercabut dari matriks dan patah secara tidak bersamaan. Pembasahan tidak terjadi dikarenakan adanya penggumpalan matriks, sehingga matriks sulit membasahi penguat [18].

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis sifat mekanik komposit polyester dengan penguat serat kaca *woven* dan matriks *unsaturated polyester* 2504 APT terhadap pembebanan yang diberikan di peroleh hasil kesimpulan sebagai berikut:

- 1a. Modulus elastisitas maksimal serat kaca *woven* tertinggi  $E_y = 9352,2$  MPa dengan nilai regangan  $\varepsilon_y = 0,0949$ . Modulus Elastisitas pada arah sumbu x lebih rendah jika dibandingkan dengan modulus elastisitas pada arah sumbu y yaitu  $E_x = 8842$  MPa dengan nilai regangan  $\varepsilon_x = 0,1182$ .
- b. Kekuatan tarik maksimal pada arah sumbu y adalah  $\sigma_y = 119,07$  MPa lebih tinggi dibandingkan pada arah sumbu x yaitu  $\sigma_x = 118,02$  MPa.
2. Kekuatan bending serat kaca *woven* arah sumbu Y lebih besar dibanding arah sumbu x, yaitu  $\sigma_{b_x} = 233,54$  MPa dan  $\sigma_{b_y} = 148,06$  MPa.
3. Berdasarkan pengamatan foto makro komposit serat kaca *woven* menunjukkan ciri khas bentuk patahan LAB, LGM dan XGM. Pengamatan lanjut foto mikro menunjukkan terjadinya *fiberpullout* pada pembebanan tarik arah x dan y.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anam, K., A. Purnowidodo, dan S. A. Setyabud. 2018. Pengaruh *Woven Angle* dan Proses Penekanan Terhadap Tegangan Tarik pada *Natural Fiber Lminate Composite*. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.9, No.3 155-162
- [2] Ma'aruf, B. 2011. Studi Standardisasi Konstruksi Laminasi Lambung Kapal *Fiberglass*. *Jurnal Standardisasi* Volume 13, No. 1: 16-25.
- [3] BKI. (2006). *Fibreglass Reinforced Plastics Ships, Rules and Regulation for the Classification and Construction of Ships*, Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.
- [4] Gundara, G. 2017. Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis. 2: 17-21.
- [5] Yudiono, H., Rusiyanto, dan Kiswadi. 2017. Kekuatan Tarik Komposit Lamina berbasis Anyaman Serat Karung Plastik Bekas (*woven bag*). *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol. 8 No.2.; 1-7.
- [6] Sari, N. H., Sinarep, Ahmad, dan I. Yudhyadi. 2011. Ketahanan Bending Komposit Hybrid Serat Batang Kelapa/Serat Gelas dengan Matrik Urea Formaldehyde. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* 5: 91-97.
- [7] Takeuchi, C. P., M. Estrada, dan D. L. Linero. 2016. The Elastic Modulus and Poisson's Ratio of Laminated Bamboo *Guadua Angustifolia*. *Key Engineering Materials* 668: 126-133.
- [8] Carli, S. Widyanto, dan I. Haryanto. 2012. Pengaruh Arah Serat Gelas dan Bahan Matriks Terhadap Kekuatan Komposit Airfoil Profile Fan Blades. *Prosiding SNST*: C. 46- C. 51.
- [9] Banakar, P., dan H. K. Shivanda. 2012. Influence of Fiber Orientation & Thickness on Tensile Properties of Laminated Polymer Composites. *Bonfring*. 41-46.
- [10] Jones, R. M., dan K. S. Devens. 1999. *Mechanics of Composite Materials Second Edition*. USA: Taylor & Francis, Inc.
- [11] Campbell, F. C. 2010. *Structural Composite Materials*: ASM INTERNASIONAL
- [12] ASTM D 3039. *Standar Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. American National Standard.
- [13] ASTM D 790. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. American National Standard.
- [14] Rios-Soberanis, C. R., R. H. Cruz-Estrada, J. Rodriguez-Laviada, dan E. Perez-Pacheco. 2012. Study of Mechanical Behavior of Textile Reinforced Composite Material. *Engineering Journal DYNA*: 115-123.
- [15] Souisa, M. 2011. Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik. *Jurnal Barekeng* Vol. 5 No. 2: 9-14
- [16] Astika, I. M. 2012. Analisa Delaminasi pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat Dengan Pembebanan Fatigue. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin* Vol. 2 No. 1: 1-14.
- [17] Mallick, P. K. 2008. *Fiber-Reinforced Composites* New York: Press Taylor & Francis Group, LLC.
- [18] Zulkifli, N. I., N. Samat, H. Anuar, dan N. Zainuddin. 2015. Mechanical Properties and Failure Modes of Recycled Polypropylene/Microcrystalline Cellulose Composites. *Journal Material and Design*: 114-123.